# 云南紫胶虫与粗纹举腹蚁之间的互利关系

王思铭[1]，陈又清[1,*]，卢志兴[1]，刘春菊[2]，张 威[2]
（1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所，昆明 650224；2. 西南林业大学林学院，昆明 650224）

**摘要**：为了明确云南紫胶虫 *Kerria yunnanensis* 和粗纹举腹蚁 *Crematogaster macaoensis* 之间的相互作用关系，于2009 年 4 月至 2010 年 10 月，在云南省墨江县雅邑乡紫胶种植园，结合野外调查和室内试验对比研究了粗纹举腹蚁取食人工食物、云南紫胶虫排泄的蜜露和无食物的 3 种处理下粗纹举腹蚁个体体重和存活率的变化，以及在粗纹举腹蚁垄断蜜露、自然条件下和无蚂蚁照顾的 3 种处理下云南紫胶虫个体怀卵量、虫体大小、死亡率和生活史周期的变化。结果显示：云南紫胶虫排泄的蜜露是一种高质量的食物资源，能够稳定增加粗纹举腹蚁工蚁的体重百分比[人工食物(44.55%) > 蜜露(25.81%) > 无食物(-4.13%)]（$F_{(2,54)}=18.81$；$P<0.01$），并提高其存活率[人工食物(85.78%) > 蜜露(82.48%) > 无食物(78.74%)]（$F_{(2,55)}=7.31$；$P<0.01$）。粗纹举腹蚁取食蜜露的同时，有利于增加单位面积上云南紫胶虫的雌虫数量[蚂蚁垄断蜜露(80.81%) > 自然状态(75.55%) > 无蚂蚁照顾(75.33%)]（$F_{(2,143)}=54.08$；$P<0.01$），提高云南紫胶虫的个体怀卵量[蚂蚁垄断蜜露(401.85 粒) > 自然状态(395.73 粒) > 无蚂蚁照顾(353.34 粒)]（$F_{(2,144)}=4.82$；$P<0.01$），降低云南紫胶虫的死亡率[蚂蚁垄断蜜露(89.42%) < 自然状态(89.78%) < 无蚂蚁照顾(90.82%)]（$F_{(2,146)}=3.45$；$P<0.05$）；云南紫胶虫虫体有变小的趋势[蚂蚁垄断蜜露(12.92 $mm^2$) < 自然状态(13.04 $mm^2$) < 无蚂蚁照顾(14.90 $mm^2$)]（$F_{(2,147)}=10.88$；$P<0.01$），生活史周期变长[蚂蚁垄断蜜露(203.96 d) > 无蚂蚁照顾(202.85 d) > 自然状态(200.00 d)]（$F_{(2,71)}=19.77$；$P<0.01$），提示粗纹举腹蚁取食蜜露增加了云南紫胶虫的代谢压力。结果说明，以蜜露为纽带的粗纹举腹蚁和云南紫胶虫之间的相互作用关系是兼性互利的。

**关键词**：粗纹举腹蚁；云南紫胶虫；食物资源；蜜露；互利共生
**中图分类号**：Q968.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)03-0286-07

## Mutualistic association between lac insect *Kerria yunnanensis* (Hemiptera: Kerridae) and ant *Crematogaster macaoensis* (Hymenoptera: Formicidae)

WANG Si-Ming[1], CHEN You-Qing[1,*], LU Zhi-Xing[1], LIU Chun-Ju[2], ZHANG Wei[2] (1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. School of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract**: In order to reveal the interactions between lac insect *Kerria yunnanensis* and ant *Crematogaster macaoensis*, changes in individual body mass and survival of *C. macaoensis* in three treatments of feeding artificial diet, honeydew excreted by *K. yunnanensis* and no food (CK), and changes in the brood amount per female, body size, mortality and the duration of life cycle of *K. yunnanensis* in three treatments of *C. macaoensis* monopolizing honeydew, ants visiting freely and no ant visiting were tested in a lac plantation in Yayi, Mojiang, Yunnan, southwestern China, from April 2009 to October 2010. The results showed that the honeydew excreted by *K. yunnanensis* is a kind of high quality food resource like artificial diet, which could increase the body mass of *C. macaoensis* workers steadily [the highest percentage of body mass gain was found in *C. macaoensis* fed by artificial diet (44.55%), followed by *C. macaoensis* fed by honeydew (25.81%), and then in *C. macaoensis* with no food supply (-4.13%) ($F_{(2,54)}=18.81$; $P<0.01$)], and improved the survival of workers [the highest survival rate was found in *C. macaoensis* fed by artificial diet (85.78%), followed by *C. macaoensis* fed by honeydew (82.48%), and then in *C. macaoensis* with no food supply (78.74%) ($F_{(2,55)}=7.31$; $P<0.01$)]. *C. macaoensis* monopolization of honeydew significantly increased the number of *K. yunnanensis* females [the highest was under the condition of monopolization of honeydew (80.81%), followed by

基金项目："十二五"国家科技支撑计划课题(2011BAD33B02)
作者简介：王思铭，女，1985 年生，河北省沧州人，硕士研究生，研究方向为昆虫生态学，E-mail：wsm8539@yahoo.com.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: cyqcaf@yahoo.com.cn
收稿日期 Received: 2012-10-03；接受日期 Accepted: 2013-01-09

ants visiting freely (82.48%), and then no ant visiting (75.33%) ($F_{(2, 143)}$ = 54.08; $P$ < 0.01)], and the brood amount per female [the highest (401.85) was under the condition of monopolization of honeydew (401.85), followed by ants visiting freely (395.73), and then no ant visiting (353.34) ($F_{(2, 144)}$ = 4.82; $P$ < 0.01)], while reduced the mortality of *K. yunnanensis* population [the highest mortality (90.82%) was under the condition of no ant visiting, followed by ants visiting freely (89.78%), and then monopolization of honeydew (89.42%) ($F_{(2, 146)}$ = 3.45; $P$ < 0.05)]. In the same time, the feeding of *C. macaoensis* on honeydew exerted metabolic stress on *K. yunnanensis*, resulting in smaller body size of females [the largest one was under the condition of no ant visiting (14.90 $mm^2$), followed by ants visiting freely (13.04 $mm^2$), and then monopolization of honeydew (12.92 $mm^2$) ($F_{(2, 147)}$ = 10.88; $P$ < 0.01)], and longer duration of life cycle [the longest was under the condition of monopolization of honeydew (203.96 d), followed by no ant visiting (202.85 d), and then ants visiting freely (200.00 d) ($F_{(2, 71)}$ = 19.77; $P$ < 0.01)]. These results suggest that the relationship between ant *C. macaoensis* and lac insect *K. yunnanensis* associated with honeydew is a factulative mutualism.

**Key words**: *Crematogaster macaoensis*; *Kerria yunnanensis*; interaction; food resources; mutualism

以蜜露为纽带，探讨蚂蚁与排泄蜜露的同翅目（现半翅目）昆虫之间的关系已成为昆虫生态学的研究热点之一（Queiroz and Oliveira, 2001; Eastwood, 2004; Perfecto and Vandermeer, 2006），并具有一定的进化意义（Eakildsen *et al.*, 2001）。同翅目昆虫排泄的蜜露能使树栖蚂蚁维持更高的种群密度，影响蚂蚁的空间分布，并强化其作为捕食者的作用（Davidson *et al.*, 2003; Schumacher and Platner, 2009）。而蚂蚁有规律地取食同翅目昆虫排泄的蜜露（Buckley, 1987），可以促进同翅目昆虫的个体发育（Oliveira and Del-Claro, 2005），提高其存活率和繁殖率（Rauch *et al.*, 2002; Del-Claro *et al.*, 2006），减少同翅目昆虫的天敌数量（Renault *et al.*, 2005; Schatz *et al.*, 2006）和霉病的发生（Flatt and Weisser, 2000; Bishop and Bristow, 2001），直接或间接保护同翅目昆虫（Way, 1963; Del-Claro and Oliveira, 2000; Oliveira and Del-Claro, 2005）；但有时蚂蚁对同翅目昆虫的照顾也能增加同翅目昆虫的代谢压力，对其生长产生不利的影响（Fischer and Shingleton, 2001; Yao and Akimoto, 2002）。另外，有些蚂蚁在争夺蜜露资源的同时，还能有效地排除其他蚂蚁对同翅目昆虫的照顾（Dejean *et al.*, 1997），并且在蜜露资源上建立一种成分类似蚁巢的保护膜，将蜜露包裹起来，形成对蜜露资源的垄断形式（Eakildsen *et al.*, 2001; 王思铭等, 2011）。

目前国内只见少量昆虫与昆虫之间的相互作用关系报道（甘明等, 2003; 施祖华和刘树生, 2003），而蚂蚁与同翅目昆虫之间的相互作用鲜有研究。紫胶虫是一种介壳虫，雌虫通过腺体分泌一种纯天然树脂——紫胶。紫胶作为一种化工原材料，具有重要的经济价值（陈晓鸣等, 2008）。紫胶虫分泌紫胶的同时，也排泄蜜露，这些蜜露会堵塞紫胶虫的生理代谢孔口，导致腐生型病原真菌感染，影响紫胶产量（顾绍基, 1993）。有报道称，蚂蚁取食紫胶虫排泄的蜜露，能使紫胶虫免受真菌感染，并能更有效地减少紫胶虫捕食性天敌的种群数量，使紫胶虫得到了有效的保护（王思铭等, 2010）。本研究以云南紫胶虫 *Kerria yunnanensis* Ou *et* Hong 排泄的蜜露为纽带，以云南紫胶虫和粗纹举腹蚁 *Crematogaster macaoensis* Wheeler 为研究对象，深入探讨取食云南紫胶虫排泄的蜜露对粗纹举腹蚁个体和种群的影响，以及粗纹举腹蚁在取食蜜露的同时对云南紫胶虫个体和种群产生的影响，明确了云南紫胶虫与粗纹举腹蚁之间相互作用关系，并进一步完善了排泄蜜露的同翅目昆虫与蚂蚁之间的相互作用关系。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验地概况

试验地位于云南省普洱市墨江县雅邑乡（101°43′E, 23°14′N），海拔 1 000 ~ 1 056 m，属南亚热带半湿润山地季风气候，年平均气温 18.3℃，年平均降雨量为 1 338 mm。

试验地林相不密，能透射太阳光，主要寄主植物为 5 年生钝叶黄檀 *Dalbergia obtusifolia* (Baker) Prain，树高 3 ~ 4 m，胸径 5 ~ 6 cm，密度 1 500 株/$hm^2$；试验地一直放养云南紫胶虫，其放养量为有效枝条（适于云南紫胶虫生长的枝条）的 60%。林

地内有大量蚂蚁栖息，这些蚂蚁取食云南紫胶虫排泄的蜜露，其主要种类为粗纹举腹蚁、黑可可臭蚁 *Dolichoderus thoracicus* (Smith) 和巴瑞弓背蚁 *Camponotus parius* Emery 等，其中粗纹举腹蚁分布在 80% 的寄主植物上，是林地内的优势种蚂蚁，具备垄断食物资源的能力(Anderson, 1992; 王思铭等, 2011)。

试验于 2009 年 4 月开始，至 2010 年 10 月完成。

**1.2 粗纹举腹蚁取食蜜露对云南紫胶虫影响的调查方法**

**1.2.1** 样地设置：试验设置 3 种处理，即粗纹举腹蚁垄断云南紫胶虫蜜露的处理、蚂蚁能照顾云南紫胶虫的处理(即处于自然状态下生长的云南紫胶虫)和无蚂蚁照顾云南紫胶虫的处理(即对照)。样地面积均为 1 000 $m^2$，各样地间距 10 m。具体设置方法如下：①参照王思铭等(2011)报道的粗纹举腹蚁蚁巢附近的工蚁昼夜不停地取食云南紫胶虫排泄的蜜露，每 10 cm 胶枝上粗纹举腹蚁工蚁的平均数量在 16.8 ~ 39.3 头之间变化，并且粗纹举腹蚁对于侵犯其领地的其他昆虫有明显的攻击行为(王思铭等, 2010)，故粗纹举腹蚁垄断云南紫胶虫蜜露的处理主要设置在粗纹举腹蚁蚁巢附近，具体做法：保护粗纹举腹蚁蚁巢及由蚁巢通向其他寄主植物上的通道不被破坏，让粗纹举腹蚁自由照顾云南紫胶虫。②处于自然状态下生长的云南紫胶虫，不做任何处理。③无蚂蚁照顾云南紫胶虫的处理(对照)：首先清除树上的蚂蚁以及蚁巢，然后放养云南紫胶虫，并在寄主植物树干距地面 0.5 m 处贴一圈透明胶带，在胶带上刷粘虫胶，阻止蚂蚁通过树干照顾云南紫胶虫。为防止粘虫胶失效，每周重新刷胶。另外，清除一切蚂蚁能到达该寄主植物的通道，并定期检查、清除。

**1.2.3** 云南紫胶虫的固虫密度和性比的调查：云南紫胶虫幼虫初期调查寄主植物枝条上每平方厘米内的固虫密度，即在 3 种处理的样地内，对角线形各选择 5 个样方，每个样方“Z”字形选择 10 株钝叶黄檀，每个处理 50 个样株，共选择 150 株钝叶黄檀。在每株钝叶黄檀上 1.5 m 处的胶枝(有云南紫胶虫寄生的枝条即为胶枝)外侧选择一个 1 $cm^2$ 的种群作为一个样本，统计云南紫胶虫的数量，共统计 150 个样本。

云南紫胶虫发育到 2 龄末期雄虫羽化前，调查雌雄性比，取样方法同上，统计 1 $cm^2$ 的胶枝内雌虫和雄虫的数量，不同设置的样本量各 50 个，共 150 个。

**1.2.3** 云南紫胶虫的死亡率、怀卵量、虫体大小和生活史周期的调查：雌成虫发育成熟后，对 3 种处理的云南紫胶虫取样，方法同 1.2.2，各 50 小块胶枝，共 150 个样本，带回实验室，剥下胶枝上的胶被后，然后把每个样本分别装入 50 个装有 95% 酒精的玻璃瓶中，溶掉紫胶后(约 7 d)，使用体视显微镜 XTL-2400 分别测量云南紫胶虫的虫体长和宽，并统计其怀卵量，随后逐株记录云南紫胶虫子代幼虫大量涌散的日期(上个世代结束，新的世代开始)，可作为比较 3 种处理下对云南紫胶虫生活史周期影响的依据。

云南紫胶虫幼虫至成虫阶段的死亡率计算公式如下：

$$dx = \frac{l_0 - l_s}{l_0} \times 100\%$$

式中，d*x* 为阶段死亡率；$l_0$ 为固定时单位面积紫胶虫虫口数量(固虫密度)；$l_x$ 为成虫阶段单位面积内紫胶虫存活数量。

云南紫胶虫成虫阶段单位面积内的存活数量采用如下公式计算(陈晓鸣和冯颖, 1989)：

$$l_x = \frac{4 + \pi}{2\pi D^2}$$

式中，*D* 为虫体宽。

以云南紫胶虫雌成虫的体长乘以体宽作为其身体大小指数(Sarty *et al.*, 2006)。

**1.3 云南紫胶虫排泄的蜜露对粗纹举腹蚁影响的调查方法**

**1.3.1** 粗纹举腹蚁个体体重变化的调查方法：选择 2 种食物资源，即云南紫胶虫排泄的蜜露和人工食物(面包屑)，选择的人工食物(每 100 g 中含有热量 1 560 kJ)中含有蛋白质、脂肪、碳水化合物、少量维生素及钙、钾、镁、锌等矿物质。之所以选择面包作为粗纹举腹蚁的人工食物，是因为面包属甜食，并且是蚂蚁高质量的食物资源。试验设置 3 种处理，即钝叶黄檀枝条(无云南紫胶虫，即无食物资源供应的对照)、钝叶黄檀胶枝(有云南紫胶虫提供蜜露)和钝叶黄檀枝条 + 人工食物。食物分装在不同的塑料杯(容量 300 mL，杯口直径 7.5 cm)中，杯底铺有湿纸，保持一定的湿度，每种处理重复 20 次，共 60 个样本。选择同巢的粗纹举腹蚁工蚁 900 头，饥饿处理 12 h 后，15 头为一组，称重后分别装入 60 个已经放好食物或枝条的塑料杯中，

用100目的尼龙网封住杯口，24 h 后，取出每个杯中的存活蚂蚁分别称其重量（Cushman *et al.*, 1994）。

**1.3.2** 粗纹举腹蚁存活率的调查方法：试验设置同云南紫胶虫对粗纹举腹蚁工蚁体重的影响，每种处理重复20次，共60个样本。选择同巢粗纹举腹蚁工蚁1 800头，30头为一组，分别装入60个已经放好食物资源或枝条的塑料杯中，用100目的尼龙网封住杯口，36 h 后，统计其活虫数量（Cushman *et al.*, 1994）。

### 1.4 数据分析

本文数据采用 SPSS16.0 和 Excel2003 进行分析。首先通过 SPSS16.0 的箱线图法检验数据是否存在异常值，对于数据中的异常值直接删除，之后对试验数据进行标准化（开平方，百分数取反正弦）处理，然后对3种试验设置下的云南紫胶虫个体怀卵量、虫体大小和死亡率、生活史周期，以及不同食物资源下粗纹举腹蚁的个体体重和存活率进行单因素方差分析和 Tukey 氏多重比较，并辅以 Excel2003 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 粗纹举腹蚁对云南紫胶虫的影响

**2.1.1** 粗纹举腹蚁对云南紫胶虫个体的影响：被粗纹举腹蚁垄断蜜露的、自然状态下的和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫虫体大小有极显著差异（表1，$F_{(2,147)}=10.88$；$P<0.01$；$n=150$）。被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的虫体大小（12.92 ± 0.37 $mm^2$）小于自然状态下（13.04 ± 0.26 $mm^2$）和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫虫体大小（14.90 ± 0.37 $mm^2$）。蚂蚁垄断云南紫胶虫排泄的蜜露，会使云南紫胶虫的虫体变得更小。

被粗纹举腹蚁垄断蜜露的、自然状态下的和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫的怀卵量有极显著差异（表1，$F_{(2,144)}=4.82$；$P<0.01$；$n=147$）。被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的怀卵量（401.85 ± 13.15粒）大于自然状态下的（395.73 ± 10.13 粒）和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫的怀卵量（353.34 ± 12.76粒）。蚂蚁垄断云南紫胶虫排泄的蜜露，有利于增加云南紫胶虫的怀卵量。

**2.1.2** 粗纹举腹蚁对云南紫胶虫种群的影响：被粗纹举腹蚁垄断蜜露的、自然状态下的和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫每平方厘米内雌虫比例有极显著差异（表1，$F_{(2,143)}=54.08$，$P<0.01$；$n=146$）。被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的每平方厘米内雌虫比例（80.81% ± 0.48%）大于自然状态下的（75.55% ± 0.37%）和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫每平方厘米内雌虫比例（75.33% ± 0.40%）。粗纹举腹蚁垄断蜜露对紫胶生产有利，因为在紫胶生产过程中，紫胶的分泌量主要取决于雌成虫的数量。

被粗纹举腹蚁垄断蜜露的、自然状态下的和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫幼虫初期至成虫阶段的死亡率有显著差异（表1，$F_{(2,146)}=3.45$；$P<0.05$；$n=149$）。被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫幼虫初期至成虫阶段的死亡率（89.42% ± 0.44%）小于自然状态下的（89.78% ± 0.40%）和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫死亡率（90.82% ± 0.33%）。粗纹举腹蚁垄断蜜露能有效降低云南紫胶虫的死亡率。

被粗纹举腹蚁垄断蜜露的、自然状态下的和无蚂蚁照顾的云南紫胶虫的生活史历期有极显著差异（表1，$F_{(2,71)}=19.77$；$P<0.01$；$n=74$）。被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的生活史周期（203.96 ± 0.26 d）和无蚂蚁照顾的（202.85 ± 0.58 d）都长于自然状态下的云南紫胶虫的生活史周期（200.00 ± 0.44 d），说明粗纹举腹蚁垄断蜜露和无蚂蚁照顾云南紫胶虫这两种极端情况下，都延迟了云南紫胶虫的发育，使其经历更长的世代。

### 2.2 取食云南紫胶虫的蜜露对粗纹举腹蚁的影响

**2.2.1** 对粗纹举腹蚁个体的影响：云南紫胶虫排泄的蜜露和人工食物能极显著地增加粗纹举腹蚁工蚁的体重（$F_{(2,54)}=18.81$；$P<0.01$；$n=57$）。从图1中可看出，对照设置的工蚁体重平均降低4.13% ± 1.34%，取食蜜露和人工食物的工蚁体重分别平均增加 25.81% ± 3.78% 和 44.55% ± 8.21%；其中对照的工蚁体重变化与取食蜜露和人工食物的工蚁体重变化有显著差异（$P<0.05$），但取食蜜露和人工食物的工蚁体重变化之间没有显著差异（$P>0.05$）。

**2.2.2** 对粗纹举腹蚁种群的影响：云南紫胶虫排泄的蜜露和人工食物能极显著地增加粗纹举腹蚁工蚁的存活率（$F_{(2,55)}=7.31$；$P<0.01$；$n=58$）。从图2中可看出，对照的工蚁平均存活率为78.74% ± 1.42%，取食蜜露和人工食物的工蚁平均存活率分别为82.48% ± 1.20% 和 85.78% ± 1.30%，其中对照的工蚁存活率与取食蜜露和人工食物的工蚁存活率有显著差异（$P<0.05$），但是取食蜜露和取食人工食物的工蚁存活率没有显著差异（$P>0.05$）。

**表 1 不同处理下云南紫胶虫测量汇总表**

**Table 1 The measurements of *Kerria yunnanensis* in different treatments**

| 处理 Treatments | 雌虫体宽(cm) Body width of females | 雌虫大小($mm^2$) Body size of females | 固虫密度(头/$cm^2$) Density of larvae (number of individuals/$cm^2$) | 成虫密度(头/$cm^2$) Density of adults (number of individuals/$cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 粗纹举腹蚁垄断蜜露 *Crematogaster macaoensis* monopolizing honeydew | 0.29 ±0.01 a (49) | 12.92 ±0.37 a (50) | 132.57 ±1.55 a (49) | 13.94 ±0.55 a (49) |
| 自然状态 Ants visiting freely | 0.30 ±0.01 ab (50) | 13.04 ±0.26 a (50) | 132.68 ±1.52 a (50) | 13.51 ±0.53 ab (50) |
| 无蚂蚁 No ant visiting | 0.31 ±0.01 b (50) | 14.90 ±0.37 b (50) | 132.68 ±1.52 a (50) | 12.12 ±0.41 b (50) |
| *F* | 3.76 | 10.88 | $1.67 \times 10^{-3}$ | 3.59 |
| *P* | <0.05 | <0.01 | >0.10 | <0.05 |
| 处理 Treatments | 死亡率(%) Mortality | 雌虫所占比例(%) Proportion of females | 怀卵量(粒/雌) Brood amount per female | 生活史周期(d) Life cycle |
| 粗纹举腹蚁垄断蜜露 *Crematogaster macaoensis* monopolizing honeydew | 89.42 ±0.44 a (49) | 80.81 ±0.48 a (46) | 401.85 ±13.15 a (49) | 203.96 ±0.26 a (24) |
| 自然状态 Ants visiting freely | 89.78 ±0.40 ab (50) | 75.55 ±0.37 b (50) | 395.73 ±10.13 a (50) | 200.00 ±0.44 b (24) |
| 无蚂蚁 No ant visiting | 90.82 ±0.33 b (50) | 75.33 ±0.40 b (50) | 353.34 ±12.76 b (48) | 202.85 ±0.58 a (26) |
| *F* | 3.45 | 54.08 | 4.82 | 19.77 |
| *P* | <0.05 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

括号中的数值为检测的样本数；同列数据后不同字母表示经 Tukey 氏多重比较有显著差异($P<0.05$)。The numerals in parentheses are the number of samples tested. Different letters following data within a column indicate significant difference by Tukey's test ($P<0.05$).

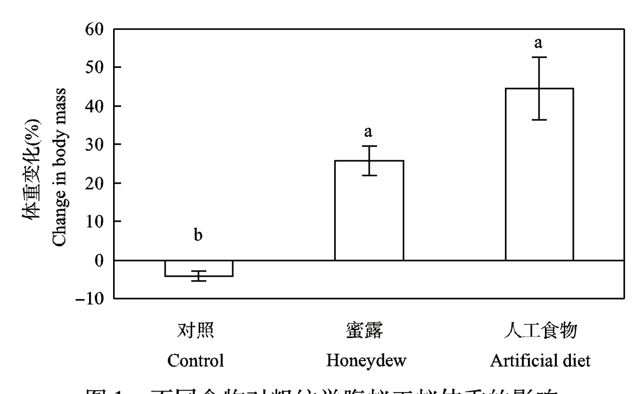



图 1 不同食物对粗纹举腹蚁工蚁体重的影响

Fig. 1 Percent change in body mass of *Crematogaster macaoensis* workers after feeding different food

对照：无食物供应 No food supply. 柱上不同字母表示经 Tukey 氏多重比较有显著差异($P<0.05$)；图 2 同。Different letters above bars indicate significant difference by Tukey's test($P<0.05$). The same for Fig. 2.

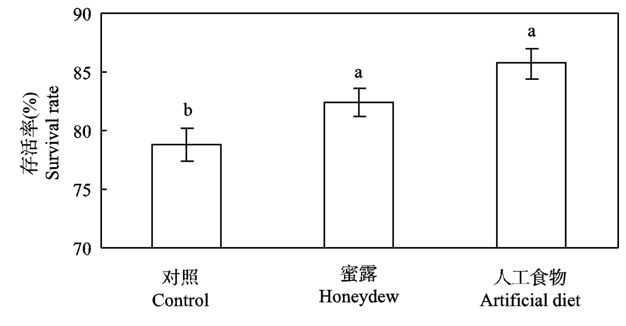



图 2 不同食物对粗纹举腹蚁工蚁存活率的影响

Fig. 2 Change in survival rate of *Crematogaster macaoensis* workers after feeding different food

## 3 讨论

粗纹举腹蚁垄断云南紫胶虫排泄的蜜露，对云

南紫胶虫产生了有利和不利的影响，但利大于弊。首先，粗纹举腹蚁的垄断提高了云南紫胶虫的个体怀卵量、增加了单位面积上雌虫的数量、降低了云南紫胶虫的死亡率，有利于云南紫胶虫的繁殖；但是，粗纹举腹蚁对云南紫胶虫排泄蜜露的垄断可能加重了云南紫胶虫的代谢压力，因为被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的虫体有变小的趋势，生活史周期也变长。

Morales（2002）报道了蚂蚁 *Formica pergandei* Emery 照顾角蝉 *Formica pergandei*（Say），其产卵量是蚂蚁被排除后的 1.7 倍，并且产卵期间角蝉成虫数量与蚂蚁的数量成正相关。Buckley（1987）提出蚂蚁会影响蚜虫的生活史特征，蚂蚁照顾能促进蚜虫的繁殖，使其种群更快地发展。本研究结果表明，被粗纹举腹蚁垄断蜜露的云南紫胶虫的怀卵量是无蚂蚁照顾的 1.14 倍，与前人的研究结果一致。

Cushman 等（1994）研究了蝴蝶 *Paralucia aurifera*（Blanchard）幼虫排泄的蜜露对蚂蚁 *Iridomyrmex nitidiceps* André 工蚁体重和存活率的影响，结果显示，蜜露不能显著增加工蚁的体重，却能够显著提高工蚁的存活率。本研究结果表明，蜜露能够显著增加工蚁的体重，与前人研究结果不一致，其原因可能是因为蚂蚁种类不同、蜜露的成分不同造成的；而蜜露能够显著提高工蚁的存活率的结论，与前人研究结果一致。另外，虽然取食蜜露和取食人工食物的工蚁体重变化和存活率变化没有显著差异，但从两种设置的最小值和最大值看，取食人工食物的工蚁体重变化最小值为 0，最大值为 125.09%，体重波动范围大，并且有体重未增加工蚁；而取食蜜露的工蚁体重变化最小值为 1.83%，最大值 61.67%，体重波动相对较平稳，并且取食蜜露的工蚁体重均有增加。综上所述，云南紫胶虫排泄的蜜露可作为一种高质量的食物资源，为粗纹举腹蚁种群的增长提供保障。

Brightwell 和 Silverman（2009）在研究阿根廷蚁 *Linepithema humile*（Mayr）时发现，限制阿根廷蚁与蜜露接近，能迫使整巢蚂蚁搬家去寻找新的蜜露资源。在本研究过程中，也发现了类似的情况，特别是在无蚂蚁照顾云南紫胶虫的样地内，原本该样地有部分粗纹举腹蚁的蚁巢，但是限制粗纹举腹蚁与蜜露资源接近后，该样地的粗纹举腹蚁蚁巢数量越来越少，虽然没有跟踪这些蚁巢的变迁，但是可猜想消失的这部分粗纹举腹蚁可能是去寻找新的蜜露资源了。

根据互利共生的双方对对方的依赖程度，互利共生可分为专性互利（obligate mutualism）和兼性互利（facultative mutualism）两种类型（孙儒泳等，2005）。粗纹举腹蚁和云南紫胶虫之间的相互作用，双方对对方的依赖程度较小，仅是机会性或非专性的互利，并且这种关系不是种间紧密的成对关系，故云南紫胶虫和粗纹举腹蚁之间的互利关系是兼性互利。这种兼性互利不仅对云南紫胶虫和粗纹举腹蚁有利，还会促进紫胶的生产（王思铭等，2011），更是蚂蚁与排泄蜜露的同翅目昆虫相互作用的一种补充。

## 参考文献（References）

Andersen AN, 1992. Regulation of "momentary" diversity by dominant species in exceptionally rich ant communities of the Australian seasonal tropics. *The American Naturalist*, 140(3): 401 – 420.

Bishop DB, Bristow CM, 2001. Effect of Allegheny mound ant (Hymenoptera: Formicidae) presence on homopteran and predator populations in Michigan jack pine forests. *Annals of the Entomological Society of America*, 94(43): 33 – 40.

Brightwell RJ, Silverman J, 2009. Effects of honeydew-producing hemipteran denial on local argentine ant distribution and boric acid bait performance. *Journal of Economic Entomology*, 102(3): 1170 – 1174.

Buckley RC, 1987. Ant-plant-homopteran interactions. *Advances in Ecological Research*, 16: 53 – 85.

Chen XM, Chen YQ, Zhang H, Shi L, 2008. Lac Insect Cultivation and Lac Production. China Forestry Press, Beijing. 1 – 3.［陈晓鸣，陈又清，张弘，石雷，2008. 紫胶虫培育与紫胶加工. 北京：中国林业出版社. 1 – 3］

Chen XM, Feng Y, 1989. The formulas for determining group density and its analysis of female adult lac insect. *Zoological Research*, 10(2): 129 – 132.［陈晓鸣，冯颖，1989. 紫胶虫雌成虫群体密度测算公式及其测算结果分析. 动物学研究，10(2): 129 – 132］

Cushman JH, Rashbrook VK, Beattie AJ, 1994. Assessing benefits to both participants in a lycaenid-ant association. *Ecology*, 75(4): 1031 – 1041.

Davidson DW, Cook SC, Snelling RR, Chua TH, 2003. Explaining the abundance of ants in lowland tropical rainforest canopies. *Science*, 300: 969 – 972.

Dejean A, Bourgoin T, Gibernau M, 1997. Ant species that protect figs against other ants: result of territoriality induced by a mutualistic homopteran. *Ecoscience*, 4: 446 – 453.

Del-Claro K, Byk J, Yugue GM, Morato MG, 2006. Conservative benefits in an ant-hemipteran association in the Brazilian tropical savanna. *Sociobioligy*, 47(2): 415 – 421.

Del-Claro K, Oliveira PS, 2000. Conditional outcomes in a neotropical treehopper-ant association: temporal and species-specific effects. *Oecologia*, 124: 156 – 165.

Eakildsen LI, Lindberg AB, Olesen JM, 2001. Ants monopolize plant resources by shelter-construction. *Acta Amazonica*, 31(1): 155 – 157.

Eastwood R, 2004. Successive replacement of tending ant species at aggregations of scale insects (Hemiptera: Margarodidae and Eriococcidae) on *Eucalyptus* in south-east Queensland. *Australian Journal of Entomology*, 43: 1 – 4.

Fischer MK, Shingleton AW, 2001. Host plant and ants influence the honeydew sugar composition of aphids. *Functional Ecology*, 15: 544 – 550.

Flatt T, Weisser WW, 2000. The effects of mutualistic ants on aphid life history traits. *Ecology*, 81(12): 3522 – 3529.

Gan M, Miao XX, Ding DC, 2003. Interactions between the parasitoid *Lysiphlebus japonicus* Ashmead and its host *Aphis craccivora* Koch: host-stage selection and its effect on development. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 598 – 604. [甘明, 苗雪霞, 丁德诚, 2003. 日本柄瘤蚜茧蜂与其寄主豆蚜的相互作用: 寄主龄期选择及其对发育的影响. 昆虫学报, 46(5): 598 – 604]

Gu SJ, 1993. The research of lac insect and pathogen species of its host. *Forest Research*, 6(6): 711 – 713. [顾绍基, 1993. 紫胶虫及其寄主树病原种类研究. 林业科学研究, 6(6): 711 – 713]

Morales MA, 2002. Ant-dependent oviposition in the membracid *Publilia concava*. *Ecological Entomology*, 27: 247 – 250.

Oliveira PS, Del-Claro K, 2005. Multitrophic interactions in a neotropical savanna: ant-hemipteran systems, associated insect herbivores, and a host plant. In: Burslem DFRP, Pinard MA, Hartley SE eds. Biotic Interactions in the Tropics. Cambridge University Press, New York. 414 – 438.

Perfecto I, Vandermeer J, 2006. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee beery borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 117: 218 – 221.

Queiroz JM, Oliveira PS, 2001. Tending ants protect honeydew-producing whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 30(2): 295 – 297.

Rauch G, Simon JC, Chaubet B, Haack L, Flatt T, Weisser WW, 2002. The influence of ant-attendance on aphid behaviour investigated with the electrical penetration graph technique. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102(1): 13 – 20.

Renault CK, Buffa LM, Delfino MA, 2005. An aphid-ant interaction: effects on different trophic levels. *Ecological Research*, 20: 71 – 74.

Sarty M, Abbott KL, Lester PJ, 2006. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community. *Community Ecology*, 149(3): 465 – 473.

Schatz B, Proffit M, Rakhi BV, Borges RM, Hossaert-Mckey M, 2006. Complex interactions on fig trees: ants capturing parasitic wasps as possible indirect mutualism of the fig-fig wasp interaction. *Oikos*, 113: 344 – 352.

Schumacher E, Platner C, 2009. Nutrient dynamics in a tritrophic system of ants, aphids and beans. *Journal of Applied Entomology*, 133: 33 – 46.

Shi ZH, Liu SS, 2003. Interspecific interactions between *Cotesia plutellae* and *Oomyzus sokolowskii*, two major parasitoids of diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(6): 949 – 954. [施祖华, 刘树生, 2003. 小菜蛾主要寄生性天敌——菜蛾绒茧蜂与菜蛾啮小蜂间的相互作用. 应用生态学报, 14(6): 949 – 954]

Sun RY, Li QF, Niu CJ, Lou AR, 2005. Basic Ecology. Higher Education Press, Beijing. 131 – 132. [孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 娄安如, 2005. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社. 131 – 132]

Wang SM, Chen YQ, Li Q, Lu ZX, Liu CJ, Guo ZX, 2010. The influence of ant-visiting *Kerria yunnanensis* Ou *et* Hong on populations of *Holcocera pulverea* Meyr in lac plantation. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 730 – 735. [王思铭, 陈又清, 李巧, 卢志兴, 刘春菊, 郭祖学, 2010. 蚂蚁光顾云南紫胶虫对其天敌紫胶黑虫种群的影响. 昆虫知识, 47(4): 730 – 735]

Wang SM, Chen YQ, Lu ZX, Liu CJ, Zhang W, Guo ZX, 2011. Monopolization of honey sources by *Crematogaster macaoensis* and its effects on lac production. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(1): 229 – 234. [王思铭, 陈又清, 卢志兴, 刘春菊, 张威, 郭祖学, 2011. 粗纹举腹蚁垄断蜜露对紫胶生产的影响. 应用生态学报, 22(1): 229 – 234]

Way MJ, 1963. Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. *Annual Review of Entomology*, 8: 307 – 344.

Yao I, Akimoto S, 2002. Flexibility in the composition and concentration of amino acids in honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Ecological Entomology*, 27: 745 – 752.


(责任编辑: 袁德成)